

論文

[2040] 鉄筋比が小さいRCはりの曲げ破壊性状

正会員○瀬古繁喜（岐阜大学大学院）

正会員 内田裕市（岐阜大学土木工学科）

正会員 六郷恵哲（岐阜大学土木工学科）

正会員 小柳 治（岐阜大学土木工学科）

1. はじめに

鉄筋比が小さいRCはりでは、載荷の進行にともない引張鉄筋ひずみが著しく増大し、引張鉄筋の破断によって破壊する場合がある。鉄筋比が小さいRCはりの破壊性状に関する最近の研究では島ら[1]や池田ら[2]によるものが挙げられる。土木学会標準示方書においては曲げモーメントの影響が支配的な長方形断面はり部材の最小鉄筋比を0.2%と定めている[3]。

本論文でははり高さHと鉄筋量Asを一定とし、はり幅bを変化させて鉄筋比を0.08%から0.81%の範囲としたRCはりについて載荷試験を行うとともに、ひびわれ性状や荷重-変位曲線で表わされるRCはりの破壊性状と鉄筋比との関係について、破壊の分散と局所化の観点から検討した。

2. 実験の概要

2.1 供試体の種類と試験方法

RCはり供試体の種類を表-1および図-1に示す。シリーズ名の数字は前2ケタがはり幅bを、後ろ2ケタがはり高さHを示す。供試体の寸法は全長170cm、はり高さ18cm、有効高さ15.7cmである。せん断スパンとモーメントスパンの長さは等しく(50cm)、せん断スパンaと有効高さdの比(a/d)は約3である。供試体にはD6異形鉄筋(SD345)2本を使用した。鉄筋の引張試験を行った結果、降伏強度 f_{sy} は42.9kgf/mm²、引張強度 f_{su} は57.0kgf/mm²、破断伸びは24%であった。2本の鉄筋は両側からそれぞれはり幅の3分の1 (b/3)の位置に配置した。鉄筋のかぶり厚さ20mmを保持できるようなプラスチック製スペーサーを用いた。

コンクリートには呼び強度255kgf/cm²、最大骨材寸法15mmのレデーミクストコンクリートを使用し、2回に分けてはり供試体を打設した。1回目はH-3018、H-5018を除いたシリーズを、2回目はこれら2つのシリーズを打設した。1回目に打設した供試体は打設後材令2日目に脱型し、また2回目の供試体は打設後5日目に脱型し、いずれもその後実験室内にて湿布養生した。

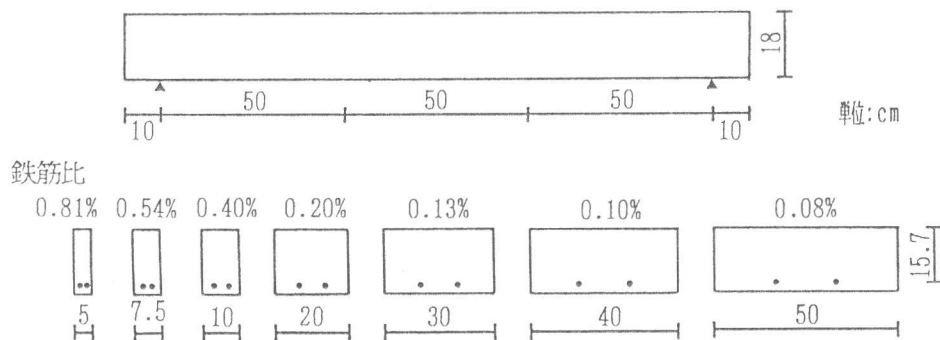


図-1 供試体の種類

表-1 供試体の種類

シリーズ名	供試体寸法(cm) 幅×高さ×全長	個数	鉄筋	鉄筋比 ρ (%)
H-0518	5×18×170	2	2D6	0.81
H-0718	7.5×18×170	//	//	0.54
H-1018	10×18×170	//	//	0.40
H-2018	20×18×170	//	//	0.20
H-3018	30×18×170	//	//	0.13
H-4018	40×18×170	//	//	0.10
H-5018	50×18×170	//	//	0.08

表-2 コンクリートの強度試験値

打設	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)
1回目	315	29.0	53.2
2回目	327	28.2	51.9

供試体寸法: φ10×20cm (圧縮)、
φ15×15cm (割裂引張)、10×10×40cm (曲げ)

載荷試験は材令53日～55日の間に行った。載荷方法は3等分点載荷であり、片側の支点はローラー支持とした。試験時には、変位速度がほぼ一定となるように試験機の油圧バルブを手動で調整した。載荷試験時の材令におけるコンクリートの強度試験結果を表-2に示す。

2. 2 ひびわれ荷重 P_{cr} 、降伏荷重 P_y 、最大荷重 P_u の定義

ひびわれ荷重 P_{cr} 、降伏荷重 P_y 、最大荷重 P_u を次のように定義し、載荷試験により得られた荷重-変位曲線からそれぞれの値を読みとった。

ひびわれ荷重 P_{cr} : 荷重-変位曲線上の初期において勾配が明らかに変化したときの荷重。または巨視的な(目視)ひびわれが発生(進展)した荷重。荷重-変位曲線が緩やかにカーブを描きながら傾きが変化しているような場合には、初期勾配と、変曲点以降の勾配に沿った直線をそれぞれ引き、2本の直線の交点の荷重をひびわれ荷重 P_{cr} とした。

降伏荷重 P_y : 荷重-変位曲線上でひびわれ荷重以降で傾きが明らかに変化した荷重。ただし、傾きが変化したあとですぐに荷重が低下しているような場合には、下がりきった荷重を降伏荷重 P_y とした。

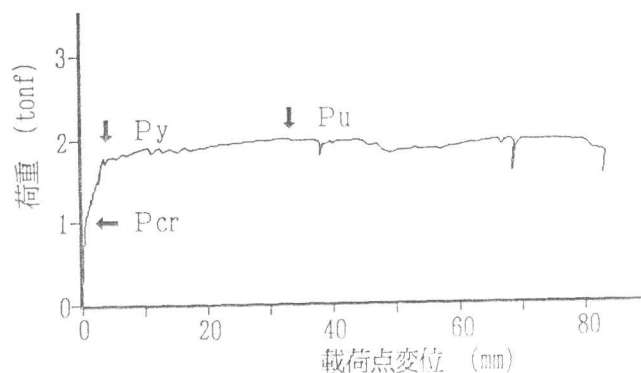
降伏後の最大荷重 P_u : 荷重-変位曲線上で、降伏荷重から最大変位(鉄筋破断時などの最終変位)の間で、最も荷重が大きくなった点の荷重。以下単に最大荷重 P_u と呼ぶ。

3. 実験結果と考察

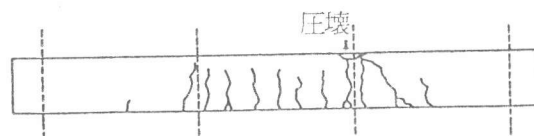
3. 1 荷重-変位曲線、ひびわれ性状

H-1018 (鉄筋比0.4%)、H-2018 (鉄筋比0.2%)、H-4018 (鉄筋比0.1%) のシリーズについて2体のうちの1体の供試体の荷重-変位曲線と試験終了後にスケッチしたひびわれ性状をそれぞれ図-2から図-4に示す。荷重-変位曲線上にはひびわれ発生点、降伏点、最大荷重点をそれぞれ P_{cr} 、 P_y 、 P_u で示す。

目視ひびわれが1本であったH-4018を除き、複数のひびわれが発生したH-1018、H-2018については、ひびわれ発生点 P_{cr} から降伏点 P_y に至る間に 残りのほぼすべてのひびわれが発生した。

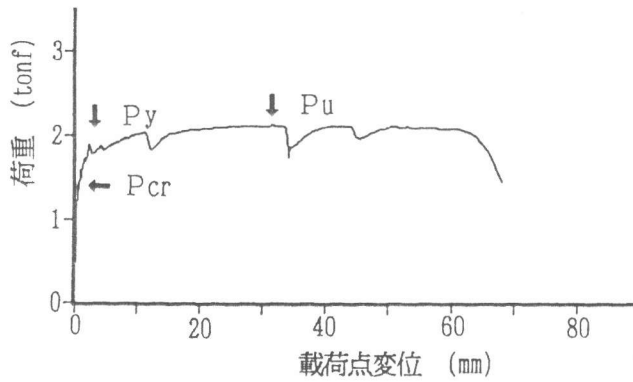


(a) 荷重-変位曲線

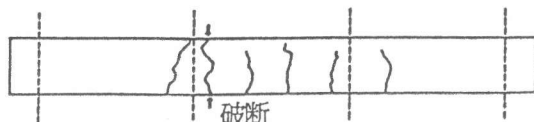


(b) ひびわれ性状

図-2 供試体H-1018(鉄筋比0.4%)の荷重-変位曲線とひびわれ性状

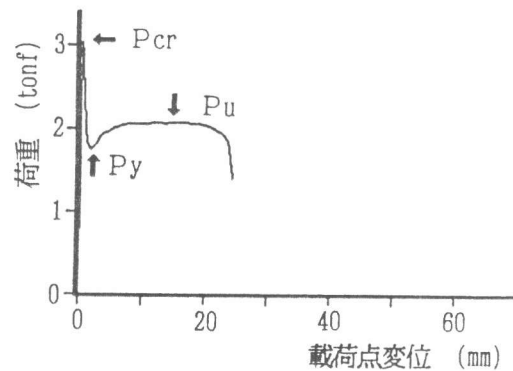


(a) 荷重-変位曲線

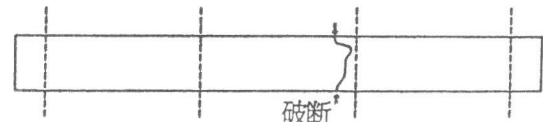


(b) ひびわれ性状

図-3 供試体H-2018(鉄筋比0.2%)の荷重-変位曲線とひびわれ性状



(a) 荷重-変位曲線



(b) ひびわれ性状

図-4 供試体H-4018(鉄筋比0.1%)の荷重-変位曲線とひびわれ性状

3. 2 鉄筋比、 P_u/P_{cr} 、 δ_{max}/ℓ 、と破壊性状

表-3には鉄筋比と、最大荷重 P_u とひびわれ荷重 P_{cr} の比(P_u/P_{cr})、載荷点の最大変位 δ_{max} を載荷スパン ℓ で除した部材回転能(δ_{max}/ℓ)、と部材の最終的な破壊性状を示す。載荷点の最大変位は、計測した荷重-変位曲線上で、鉄筋の破断などにより最大荷重以後耐力が急激に下がり始める時の変位とした。

表-3より P_u/P_{cr} は、はり幅が大きくなり鉄筋比が小さくなるに従い減少していることがわかる。ひびわれの分布の様子と P_u/P_{cr} の関係については、分散してひびわれが発生している鉄筋比0.2%以上の供試体では $P_u/P_{cr} > 1$ となり、単一のひびわれが発生している鉄筋比0.13%以下の供試体では $P_u/P_{cr} < 1$ である。 δ_{max}/ℓ と鉄筋比およびひびわれの分散との関係を見ると、複数のひびわれが分散している場合(鉄筋比0.2%以上)に対し、ひびわれが1本しか発生していない場合(鉄筋比0.13%以下)には、 δ_{max}/ℓ は半分以下と部材回転能は明らかに小さい。はり幅が20cm以上(鉄筋比が0.2%以下)のシリーズでは鉄筋の破断により部材が破壊したことから、それ以下では引張鉄筋が破断するいわゆる限界鉄筋比 p_r [4]は0.2%から0.4%の間にあることがわかる。

$P_u/P_{cr} = 1$ をほぼ境界として、 $P_u/P_{cr} > 1$ の場合は最大変位も大きくひびわれも分散し、比較的安定した破壊性状となり(破壊の分散)、一方 $P_u/P_{cr} < 1$ の場合にはひびわれが1本のみ生じ、部材の小さな変形量で断面破壊に至る破壊性状となった(破壊の局所化)。

3. 3 はりの破壊性状の分類

上に述べた実験結果と、従来の研究[1],[2]を参考にして、ひびわれ荷重 P_{cr} 、降伏荷重 P_y および最大荷重 P_u の3者の関係を用いて、図-5(a)~(c)に示

表-3 鉄筋比、 P_u/P_{cr} 、 δ_{max}/ℓ と破壊性状

シリーズ名	鉄筋比	P_u/P_{cr}	δ_{max}/ℓ	ひびわれ本数	破壊性状
H-0518	0.81	3.08	0.008	12	降伏後せん断付着破壊
H-0718	0.54	2.69	0.046	16	降伏後せん断破壊
H-1018	0.40	1.99	0.049	12	曲げ破壊(圧壊)
H-2018	0.20	1.32	0.042	5	曲げ破壊(鉄筋破断)
H-3018	0.13	0.85	0.018	1	// //
H-4018	0.10	0.70	0.016	1	// //
H-5018	0.08	0.68	0.017	1	// //

すように、鉄筋比が小さいRCはりの破壊性状を3種類に分類できる。

(a) $P_{cr} < P_y < P_u$ の場合：荷重が増加しひびわれが発生した時点 (P_{cr}) ではまだ鉄筋は降伏していない。はりの変形がさらに進むにつれてひびわれの数とひびわれ幅が増加し、次にひびわれ発生位置の鉄筋に降伏が生じる (P_y)。そのあと降伏した鉄筋の領域では加工硬化にはいる。変形の進行とともに鉄筋の降伏領域がはりの軸方向に広がり、鉄筋降伏-ひびわれの成長-鉄筋の加工硬化のサイクルが何回か繰り返され、耐力が上昇するとともに、変形の増大に伴い圧縮縁のコンクリートの圧壊も発生する。これは典型的な鉄筋コンクリートはりの破壊性状である。

(b) $P_y < P_{cr} < P_u$ の場合：ひびわれが発生する (P_{cr}) と荷重は一度降伏荷重 (P_y) まで低下する。その後ひびわれ発生位置における鉄筋の加工硬化により荷重が増大する。はりの変形の進行とともに荷重が再びひびわれ荷重 P_{cr} を超えると新たなひびわれが発生・進展し、鉄筋の降伏、加工硬化を経て耐力の増加が続く。ただ、 $P_u > P_{cr}$ となっても、 P_u が P_{cr} にほとんど等しい場合には、新たなひびわれは発生しないこともある。

(c) $P_y < P_u < P_{cr}$ の場合：ひびわれ発生 (P_{cr}) 直後の荷重低下までは (b) の場合と同様の挙動を示す。荷重はひびわれ発生位置における鉄筋の加工硬化により増大するものの、ひびわれ荷重 P_{cr} よりも大きくなるので新たなひびわれは発生しない。したがって、最初のひびわれ発生位置でのみ鉄筋の変形が進み、鉄筋の降伏 (加工硬化) 領域が限定されるために、鉄筋の変形が分散する (a) や (b) の場合に較べて部材の小さな変形で鉄筋が破断して断面破壊が起こる。ただし、この (c) の場合、変位制御に代わって荷重制御 (荷重を単調増加させる方法) により載荷試験を行うと、ひびわれ発生直後に一気に変形が増大し鉄筋の破断に至る。

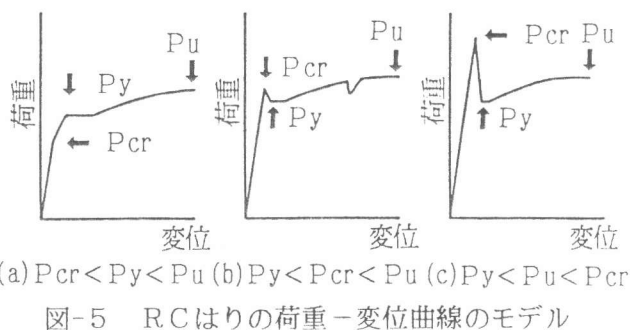


図-5 RCはりの荷重-変位曲線のモデル

4. まとめ

本研究においては、鉄筋比を0.08%から0.8%に変化させた単鉄筋長方形断面のRCはりの載荷試験を行い、ひびわれ性状や荷重-変位曲線で表わされるRCはりの破壊性状と鉄筋比との関係を明らかにした。 $P_y > P_{cr}$ の場合には、ひびわれが分散して発生し、無筋コンクリートに較べて明らかに大きな変形能と鉄筋量に応じた耐力を有し、本来の鉄筋コンクリートはりとしての破壊性状となった (破壊の分散)。 $P_u < P_{cr}$ の場合にはひびわれは1本のみ発生し、部材の小さな変形量で鉄筋の破断に至る破壊性状となった (破壊の局所化)。

参考文献

- 1) 島 弘・二羽淳一郎・岡村 甫:曲げを受ける低鉄筋比はりにおける脆性破壊の防止に関する検討、土木学会論文集、No.378, 1987.2, pp.231-237.
- 2) 池田尚治・山口隆裕・後藤康之:鉄筋比の小さい鉄筋コンクリートはりの曲げ挙動に関する研究、コンクリート工学論文集、第1巻、第1号、1990.1, pp.51-59.
- 3) コンクリート標準示方書、設計編、土木学会、昭和61年10月、p.47.
- 4) 小柳治・六郷恵哲・岩瀬裕之:RCはりの曲げ破壊性状と曲げじん性に及ぼす材料特性の影響、土木学会論文集、第348号、V-1, 1984.8, pp.153-162.